

研究活動 IX . 物性実験グループ IX - 5 . 低温物性グループ

| | |
|-----|---|
| 雑誌名 | 年次研究報告 |
| 巻 | 2013 |
| ページ | 215-222 |
| 発行年 | 2014-10 |
| URL | http://hdl.handle.net/2241/00124613 |

IX-5. 低温物性グループ

| | |
|------|--|
| 教 授 | 大塚洋一 |
| 准教授 | 神田晶申 |
| 助 教 | 森下將史 |
| 大学院生 | 友利ひかり (数理工質科学研究科博士課程 3 年)、 稲垣匠哉、大賀和人、仁平慎太郎、廣瀬桃子 (同修士課程 2 年) 青木 仁、伊藤 優、片倉健太 (同修士課程 1 年) |
| 卒業研究 | 池田尚樹、加藤大貴、田中宏和、平出璃音可 (物理学類 4 年) |

低温物性実験グループでは、主に 1 K 以下の極低温領域を舞台として、グラフェンや単分子架橋系などのナノあるいはメゾスコピックな導体系の電気伝導、微小ジョセフソン接合を利用した局所磁気計測および吸着ヘリウム薄膜の研究を行っている。

【 1 】グラフェンの電気伝導 (友利、貫井、仁平、片倉、神田)

(1) グラフェンの歪み効果 (友利、神田)

グラフェンには格子歪みによって擬ゲージ場 (ベクトル/スカラーポテンシャル) が生じるという特別な性質がある。これをうまく使うとグラフェンに大きな伝導ギャップを誘起できるという理論予測があり、歪み効果はグラフェンの電子デバイス応用のためのブレークスルーになる可能性を持っている。この歪み効果を実験的に検証するのが本研究の目的である。今年度は以下の成果を得た。

- 我々独自の方法である、グラフェンと基板の間にレジストでできた任意形状のナノ構造を挿入するという方法を用いて、グラフェンに 1 次元局所歪みを導入し、電気伝導を測定した。歪み分布は顕微ラマン分光によって確認した。電気伝導率のバックゲート電圧依存性 (σ - V_g 特性) では、電気伝導率が最小になる点 (電荷中性点) よりも高ゲート電圧側で傾きが大幅に小さくなる非対称の V 字型カーブが観測されることを見いだしたが、伝導ギャップは観測されなかった。電子とホール電界効果移動度の比 μ_{FE}^e/μ_{FE}^h は 0~0.5 (14 試料、平均 0.22、標準偏差 0.14) となった。これは、歪みのないグラフェンでは、 σ - V_g 特性が電荷中性点に対してほぼ対称の V 字型のカーブを示し、電子とホール電界効果移動度の比 μ_{FE}^e/μ_{FE}^h が 0.6~1.0 (7 試料、平均 0.78、標準偏差 0.09) の値を示すのとは対照的である。この原因を解明するための対照実験や数値計算を行い、非対称な電気伝導は局所歪みによって誘起されたスカラーポテンシャルに起因している可能性が高いことを明らかにした。理論で予測されている伝導ギャップが見られないのは、電子の平均自由行程内での歪みの空間変化量が小さいためであると考えられる。
- 電子の平均自由行程が短くなる原因として、レジストナノ構造を形成する際のグラフェンへの電子線照射があげられる。実際、顕微ラマン分光によって、電子線照射領域から約 1 ミクロン離れたところまで欠陥が生成することがわかった。そこで、レジストナノ構造作製時の電子線照射がグラフェンの電気伝導に影響を与えないような歪み導入法を 2 種類考案し、実際にグラフェン試料を作製して、電気伝導特性を評価した。その結果、依然として、電子の平均自由行程内での歪みの空間変化量が小さいことが示唆された。

(2) グラフェンの電気伝導特性における電子線照射の影響 (友利、平出、田中、神田)

電子線照射がグラフェンの電気伝導に与える影響を、ラマン分光、電気伝導測定によって評価した。実験では、同一のグラフェン試料に対して電子線照射を断続的に行い、各電子線照射の直後に

ラマン分光と電気伝導測定を行った。その結果、電子線照射の総量の増加に伴い、ラマンDバンドとGバンドの強度比 I_D/I_G が大きくなること、その一方で平均自由行程 l_{mf} が短くなることがわかった。これらの結果から、 I_D/I_G と l_{mf} の関係式を得た。この関係式を用いると、ラマンスペクトルから平均自由行程や移動度を評価することが可能となる。また、電子線照射によって欠陥を導入したグラフェンに対してラマンマッピングを繰り返すと、 I_D/I_G 比が著しく減少することを見いだした。 I_D/I_G 比は、単にグラフェンを室温で保存しておいたり、アニールしたりすることによっても減少する。これは、ラマンDバンドがグラフェン中の荷電不純物に起因していることを示唆するが、詳細の原因は検討中である。

(3) グラフェンの電気伝導に対する電極接続の影響 (片倉、伊藤、神田)

グラフェンの電気伝導に対する電極接続の影響を低減し、短チャネル2端子デバイスにおいてもグラフェン本来の高移動度を実現することを目標として、昨年度に引き続き以下の研究を行った。

- Cr/Au, CrO/Cr/Au の電極を接続したグラフェン電界効果素子の電気伝導のチャネル長依存性を調べた。その結果、抵抗のゲート電圧依存性に2つのピーク（ディラック点）が出現することを見出した。この結果は、以前実施したTi/Alの電極の場合とは明らかに異なる。チャネル長依存性から、①高ゲート電圧側のピークは電極の影響を受けていないグラフェン領域、②低ゲート電圧側のピークは電極近傍にあるグラフェン領域に由来することが明らかとなった。また、1次元抵抗モデルにもとづく数値シミュレーションによって、電極直下のグラフェンは電極からの電荷ドーピングを受けているがキャリア密度は完全にはピン止めされていないことがわかった。
- 昨年度開発した、多層グラフェンをSi基板上に直接成長する方法を利用して、多層グラフェンを金属電極とグラフェンとの界面に挟みこんだ構造を作製し、電極からのキャリアドーピングを軽減することを試みた。電子線リソグラフィで定義した横幅10ミクロン程度の領域にアモルファスカarbon(a-C)/Ni/Auを堆積し高温アニールした結果、大面積膜では見られなかったNi/Au膜の微粒子化が起り、一様な多層グラフェン膜は形成されなかった。そこで、予備実験として、a-Cを界面に挟み込んだ構造について測定を行った。測定では、単一のグラフェン上に、(a)4端子素子、(b)界面にa-Cを挟んでいない短チャネル2端子素子、(c)界面にa-Cを挟んだ2端子素子の3つの試料を作製し、電気伝導率のゲート電圧依存を比較した。電極にはCr/Auを用いた。その結果、試料cでは低ゲート電圧側のディラック点が消滅し、電極からの電荷ドーピングが除去されていることが確認されたが、a-Cの存在による荷電不純物散乱増大の傾向が見られ、移動度の改善は不十分であることがわかった。今後は、グラフェン上に多層グラフェンを直接成長する手法を開発し、電極接続の影響の更なる軽減を目指したい。

【2】金属ナノコンタクトにおける熱現象 (青木、池田、大塚)

機械破断接合MBJを用いたナノコンタクトの研究を行ってきた。数年前に超伝導ナノコンタクトの電流電圧特性に特有な構造を見出し、これがコンタクト部分の電子温度上昇に伴う超伝導の消失によるものであることを明らかにした。電流が集中するコンタクト部ではジュール熱による過熱が容易に進行する。このナノコンタクトの過熱現象はこれまで接合の不安定化やテレグラフ雑音の増大を通して議論されてきたが、これらはいずれも格子温度の増加を通して起きるものであり、電子温度の上昇を直接検知するものではなかった。ナノコンタクトでの発熱や熱輸送にはまだ不明なことが多く、これを調べるために独立の温度センサーを接合近傍に配置した超伝導MBJの実験を計画しその準備を行った。AuGe合金を用いた約0.2μm四方の抵抗温度計をリフトオフで作製している。

【 3 】 鉄系超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ のポイントコンタクトスペクトロスコピー (稲垣、大塚)

多バンド超伝導体である鉄系超伝導体は複数のオーダーパラメータを持つとともに、電子ポケットと正孔ポケットのオーダーパラメータの符号は互いに異なるとされる。われわれはこれまでに鉄系超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ に対してポイントコンタクトスペクトロスコピーの測定を行ってきた。常伝導探針を用いた SN 接合では少なくとも3つの超伝導ギャップがあることを明らかにしたが、超伝導探針による S-S' 接合では超伝導電流も多重アンドレーエフ反射構造も観測することができなかった。Stanev と Koshchelev による従来型 S 波超伝導体と多ギャップ超伝導体の間の近接効果の理論によれば、従来型超伝導体の局所状態密度は多ギャップ超伝導体のギャップによる影響を受けるとともに、オーダーパラメータの相対的符号によって状態密度は増加あるいは減少する。この異常近接効果を確認するべく試料構造を検討し、鉄系結晶 $\text{Al}-\text{AlO}_x-\text{Au}$ の試料の作製を試みたが、良質な接合界面やトンネル接合がまだ実現できず結果を得るには至らなかった。なお、本研究で用いた $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ は小野田研究室で作製された結晶試料であり、小野田雅重准教授に感謝する。

【 4 】 トンネル接合型マイクロ SQUID (大賀、廣瀬、大塚)

(1) SQUID をセンサーとしたプローブ顕微鏡の開発 (大賀)

マイクロ SQUID をプローブとした走査型磁気顕微鏡を実現するために、希釈冷凍温度域で動作する x-y 平面移動ステージの開発を行った。よく使われているピエゾ素子ではなく、ヘリウムガスの圧力によるベローズの変形を駆動力に利用するという独自の方法を試み、さらに位置検出のための 0.2mm ピッチの電気容量型変位センサーを開発した。既存の希釈冷凍機に取り付けを行い、その動作を室温で確認し、約 $7\mu\text{m}$ の位置精度を得た。さらに Nb マイクロ SQUID による低温試験を行い、SQUID の動作を確認した。ただし、加圧用ヘリウムラインのリークとブロックのためステージ動作の低温での確認には至らなかった。

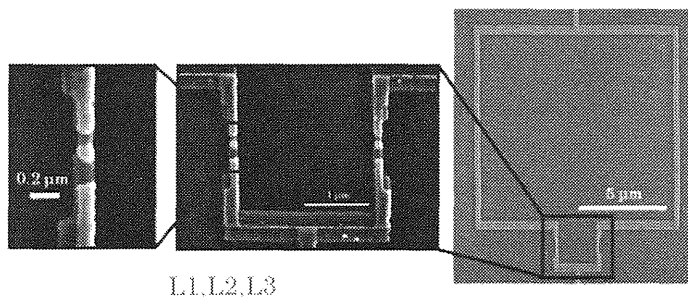
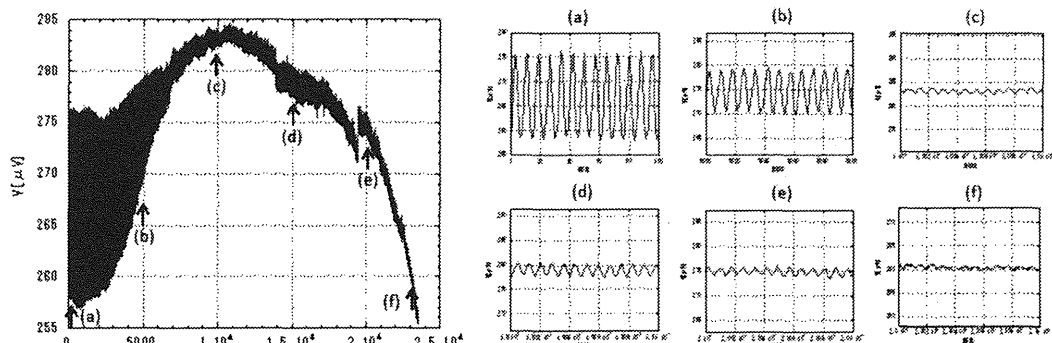


図1 (左): Nb-マイクロ SQUID の電子顕微鏡写真

図2 (左下): 平行磁場下における Nb-マイクロ SQUID の磁気応答。SQUID に特有な周期的な電圧振動は 2 T 以上の磁場でも観測できる。



(2) Nb を用いたトンネル接合型マイクロ SQUID の開発 (廣瀬)

トンネル接合型マイクロ SQUID をより広い温度および磁場領域で使用可能なものにするために、アルミニウムではなくニオブウム製の SQUID 素子の開発を行った。ニオブは高融点の活性金属であるとともに、アルミニウムとは異なりその酸化膜はトンネル障壁として良好な特性を有しない。このため作製プロセスを一から見直し、作製条件を探った。まず良質な Nb 細線をリフトオフで作るために、蒸着方法に超高真空中での電子線加熱蒸着を、微細加工には PES-Ge-PMMA の三層レジスト法を採用した。これによって、約 $0.2\ \mu\text{m}$ の細線が $4.6\ \text{K}$ で超伝導になるのを確認した。トンネル接合は、二度の Nb 蒸着の間に、ロードロック室でアルミナをスパッタ蒸着することで作製した。この工程ではニオブ酸化膜が形成されこれがバリアとして働く場合があることが分かり、条件を探った。

図 1 に作製した SQUID 素子の電子顕微鏡写真を示す。斜め蒸着による約 $0.1\ \mu\text{m}$ 四方の接合がほぼ設計通りにできている。極低温での電流-電圧特性は、A1-微小トンネル接合型マイクロ SQUID と同様に、ゼロバイアス付近でも電圧状態となり有限抵抗を持ち、その抵抗が試料面に垂直に印加した磁場に対して周期的に振動する SQUID 動作をしめす。SQUID ループに垂直、平行に印加した磁場に対して、この振動はそれぞれ $1800\ \text{G}$ 、 $23000\ \text{G}$ まで継続することを確認した (図 2)。さらに温度については約 $4\ \text{K}$ まで動作することが確認できた。これより、Nb-微小トンネル接合型マイクロ SQUID は、従来の A1-微小トンネル接合型マイクロ SQUID と比較して、動作可能な磁場領域を $1\ \text{T}$ から $2.5\ \text{T}$ 以上に、温度領域を約 $1\ \text{K}$ から約 $4\ \text{K}$ まで広げること成功した。

【 5 】 石英チューニングフォークを用いた液体ヘリウムの粘性測定 (加藤、大塚)

電子時計の基準発振器に使用される石英チューニングフォークは高い Q 値を持つ安定した圧電振動子であり、走査型プローブ顕微鏡などの物理計測にも多用されている。卒業研究のテーマとして石英チューニングフォークの特性を調べ、液体ヘリウム中での共振曲線から超流動転移に伴う密度と粘性の変化を確認した。

【 6 】 グラファイト上ヘリウム薄膜における Dirac 粒子系 (森下)

原子レベルで平坦なグラファイト表面に吸着したヘリウム薄膜は、よく定義された層構造をもち、それぞれの層は理想的な 2 次元系を与える。核スピン $1/2$ をもつ Fermi 粒子系であるヘリウム 3 (^3He) 薄膜の固相は 2 次元量子スピン系を与え、複数の原子が循環的に位置を交換して生ずるリング交換相互作用の競合が磁性を支配する。gapless spin liquid が強く示唆される相を始め、面密度により多彩な磁性が現れるが、これはリング交換相互作用の競合に、吸着構造が強く影響を及ぼしているためとして理解されている。一方、Bose 粒子系であるヘリウム 4 (^4He) 薄膜では、固相において零点空孔子が媒介する超流動、即ち超固体の存在などの新奇な物理現象の出現が期待されるが、測定手段が限られるために吸着構造に関する情報が著しく不足しており、固体なのか流体なのかすら、必ずしも明らかになっていない。

本研究では、 ^4He 薄膜に少量の ^3He を混入しての熱容量測定により、 ^4He 薄膜の状態・吸着構造の調査を行っている。 ^4He は低温でフォノンに由来する小さな熱容量しか持たないが、混入した ^3He は ^4He 薄膜の最上層内に ^4He と共存し、 ^4He 薄膜が流体であれば Fermi 気体として振る舞う。一方、 ^4He 薄膜が固体になると局在してほとんど熱容量をもたない。即ち、 ^4He 薄膜の状態や構造を反映した熱容量を示す。 ^3He の吸着量を $0.1\ \text{nm}^{-2}$ 或いは $0.2\ \text{nm}^{-2}$ に固定し、 ^4He の吸着量を増やしながら行った吸着第 1 原子層における熱容量測定の結果、熱容量の等温曲線で $6.4\ \text{nm}^{-2}$ 近傍に鋭いディップが観測された。これは ^3He - ^4He 薄膜が $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 相と呼ばれる、グラファイトの吸着ポテンシャルの凹凸に整合で非常に安定な固相に固化し、 ^3He が局在しているとして理解できる。これより低面密度領域は流体相として従来の知見と矛盾はない。高面密度領域での増大は、フォノンによる寄与や、相分離した ^3He - ^4He が昇温とともに混合による寄与などでは全く説明することができず、ヘリウム薄膜が再融解、或いは流動性を獲得していることを

強く示唆する。従来、この面密度では ^4He 薄膜はグラファイト基盤に整合性をもった固相を形成すると考えられており、その予測とは全く異なる上、圧縮により再融解するという特異な現象を示すことになる。

“再融解”している領域での熱容量は ^3He の量に比例し、また、 7 nm^2 を境に熱容量の温度依存性が線形から自乗に急激に変化している。これらの振る舞いは2次元フェルミ流体の比熱としては異常であり、 ^3He は2次元空間を自由に運動してはいない、即ち、 ^3He - ^4He 薄膜が一様に融解している訳ではないことを示唆する。この面密度領域では、 ^3He - ^4He 薄膜が固化していれば吸着構造は domain wall 構造となることが期待される。domain wall 内では、ハードコア斥力とともにヘリウム原子を局在させるようとする吸着ポテンシャルの凹凸の影響が弱まる。従って、domain wall が流動性を有している可能性は残される。domain wall が流動性を有すると、 ^3He は零点エネルギーを得するために、流動性のある domain wall 内に集中することになる。domain wall 構造としては、一般に低面密度では平行に配列した striped domain wall、高面密度では蜂の巣状に配列した honeycomb domain wall 構造が期待される。domain wall が流動性を有すると、striped domain wall 構造では ^3He は1次元系を運動することになり熱容量は温度に比例する。一方、honeycomb domain wall 構造では、 ^3He 原子は蜂の巣構造上を運動することになり、グラフェンの伝導電子と類似の自由度を持ち、線形分散をもった Dirac 粒子として振る舞う可能性が考えられる。このとき、熱容量は温度の自乗に比例することが期待される。熱容量の線形から自乗への振る舞いの変化は striped から honeycomb への構造相転移で説明でき、 ^3He 薄膜における吸着構造の知見とも一致する。

Dirac 粒子系は、通常の Fermi 粒子系と異なり、全ての粒子が同じ速さ(Fermi 速度)をもち、その大きさが通常の Fermi 粒子系に比べ桁違いに大きいという特徴をもつ。Dirac 粒子系が実現されているとの仮定のもと測定された熱容量から得られる Fermi 速度は、きれいな蜂の巣構造をとる面密度で極大となり、一様な ^3He 薄膜での Fermi 速度に比べ最大2倍程度の値が得られる。また、 ^3He 面密度をさらに小さくすることにより1桁程度大きな Fermi 速度が実際観測可能であると期待される。

“再融解”を示唆する異常な振る舞いが観測されただけでなく、グラフェン・金属基板上分子・冷却原子などに続き、新たな系で Dirac 粒子系が実現されている可能性が高い。

< 学位論文 >

(博士論文)

友利ひかり、“Effect of local lattice strain and electron beam irradiation on electrical transport properties of graphene”、理学 (博士)、数理物質科学研究科、2014 年 3 月

(修士論文)

稲垣匠哉 鉄系超伝導体 $\text{FeSe}_{1-x}\text{Te}_x$ -S 波超伝導体接合の電気伝導、理学 (修士)、数理物質科学研究科、2014 年 3 月

大賀和人 希釈冷凍温度域 SQUID 顕微鏡の開発、理学 (修士)、数理物質科学研究科、2014 年 3 月

仁平慎太郎 2次元原子膜の電子・スピン伝導、理学 (修士)、数理物質科学研究科、2014 年 3 月

廣瀬桃子 Nb を用いた微小トンネル接合型マイクロ SQUID の開発、理学 (修士)、数理物質科学研究科、2014 年 3 月

(卒業論文)

池田尚樹 Pb-ナノポイントコンタクトの電気伝導、物理学類、2014 年 3 月

加藤大貴 石英チューニングフォークを用いた液体ヘリウムの粘性測定、物理学類、2014 年 3 月

田中宏和 グラフェンの転写方法の開発と架橋グラフェンのラマンスペクトル、物理学類、2014 年 3 月

<論文>

1. Kenta Katakura, Hikari Tomori, Youiti Ootuka, and Akinobu Kanda, “Surface morphology of multilayer graphene synthesized directly on silicon dioxide”, *Phys. Status Solidi C*, Vol. 10 (2013) p.p.1628–1631.
2. M. Morishita: “Heat Capacity of Dilute ^3He - ^4He Films on Graphite”, *J. Low Temp. Phys.* **171**, 664-669 (2013).

<講演>

国際会議

1. Yousuke Nukui, Hikari Tomori, Hidenori Goto, Youiti Ootuka, and Akinobu Kanda, “Temperature dependence of mobility in top and bottom surfaces of multilayer graphene placed on silicon dioxide”, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe (Japan), May 22, 2013
2. Hikari Tomori, Youiti Ootuka, and Akinobu Kanda, “Comparison of Electron Transport in Graphene with Uniform and Nonuniform One-dimensional Strain”, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe (Japan), May 20, 2013
3. Kenta Katakura, Hikari Tomori, Youiti Ootuka, and Akinobu Kanda, “Surface morphology of few-layer graphene synthesized directly on silicon dioxide”, The 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe (Japan), May 20, 2013
4. H. Ito, s.Mamyoda, Y. Shibata, Y.Ootuka, S.Nomura, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, H.Tamura and T.Akazaki, Imaging of spin-resolved quantum Hall edge states by near-field scanning optical microscopy, 20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20), Wroclaw University of Technology, Poland, 1-5 July, 2013.
5. Hikari Tomori, Youiti Ootuka and Akinobu Kanda, “Electron transport in graphene with one dimensional local strain”, 20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20), Wroclaw (Poland), Jul. 1, 2013
6. Akinobu Kanda, Yosuke Nukui, Hidenori Goto, Hikari Tomori, Youiti Ootuka, “Determination of mobility in top and bottom surfaces of multilayer graphene placed on SiO_2/Si substrate”, 20th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-20), Wroclaw (Poland), Jul. 3, 2013
7. M. Morishita, “Reentrant Solidification of First Layer of ^4He Film on Graphite”, International Symposium on Quantum Fluids and Solids (QFS2013) (Matsue, August 5, 2013).
8. Hikari Tomori, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, “Electronic transport measurement and Raman spectroscopy of e-beam irradiated graphene”, 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR2013), Tokyo (Japan), Sep. 12, 2013
9. Yu Ito, Shintaro Nihei, Kenta Katakura, Hikari Tomori, Hirokazu Tanaka, Rineka Hiraide, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, “Channel length dependence of field effect mobility in short-channel graphene field-effect devices”, 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR2013), Tokyo (Japan), Sep. 12, 2013
10. Kenta Katakura, Hikari Tomori, Yu Ito, Shintaro Nihei, Rineka Hiraide, Hirokazu Tanaka, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, “Fabrication and transport measurement of graphene field effect devices with multilayer graphene inserted into graphene/metal interfaces”, 5th International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR2013), Tokyo (Japan), Sep. 12, 2013
11. Hikari Tomori, Youiti Ootuka and Akinobu Kanda, “Introducing Nonuniform Strain to Graphene without e-beam Damage”, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto (Japan), Sep. 20, 2013

12. Akinobu Kanda, Yousuke Nukui, Hidenori Goto, Hikari Tomori and Youiti Ootuka, "Mobility of Top and Bottom Surfaces of Multilayer Graphene Placed on SiO₂ Substrate", 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Kyoto (Japan), Sep. 20, 2013
13. H. Tomori, K. Katakura, Y. Ito, R. Hiraide, H. Tanaka, Y. Ootuka and A. Kanda, "Relationship between Transport Properties and Raman Spectra in Graphene Field Effect Devices", 2013 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2013), Fukuoka (Japan), Sep. 26, 2013
14. K. Katakura, S. Nihei, H. Tomori, Y. Ito, Y. Ootuka and A. Kanda, "Reducing Carrier Density Pinning at Graphene/Metal Interfaces Using Multi-layer Graphene", 2013 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2013), Fukuoka (Japan), Sep. 27, 2013
15. H. Tomori, R. Hiraide, H. Tanaka, K. Katakura, Y. Ito, Y. Ootuka and A. Kanda, "Inducing Local Strain in Graphene without Direct E-beam Exposure", 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2013), Sapporo (Japan), Nov. 7, 2013
16. H. Tomori, R. Hiraide, H. Tanaka, Y. Ito, K. Katakura, Y. Ootuka and A. Kanda, "Effect of Electron Beam Irradiation on Raman Spectra and Transport Properties in Graphene", 26th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2013), Sapporo (Japan), Nov. 8, 2013
17. S. Nomura, S. Mamyouda, H. Ito, Y. Shibata, Y. Ootuka, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, H. Tamura and T. Akazaki, Mapping of spin-resolved quantum Hall chiral edge channels, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (ISNTT2013), NTT Atsugi R&D center, Kanagawa, Japan, November 26-29 (2013)
18. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Hirokazu Tanaka, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, "Effect of electron beam irradiation on Raman spectra and transport properties in graphene", International Symposium on Advanced Nanodevices and Nanotechnology (ISANN 2013), Kauai (USA), Dec. 11, 2013
19. Hikari Tomori, Rineka Hiraide, Hirokazu Tanaka, Youiti Ootuka, Akinobu Kanda, "Relationship between Transport Properties and Raman Spectra in Electron Beam Irradiated Graphene", APS March Meeting 2014, Denver (USA), Mar. 5, 2014
20. Akinobu Kanda, Kenta Katakura, Yu Ito, Shintaro Nihei, Rineka Hiraide, Hirokazu Tanaka, Youiti Ootuka, Hikari Tomori, "Reducing Carrier Density Pinning at Graphene/Metal Interfaces Using Interfacial Multilayer Graphene", APS March Meeting 2014, Denver (USA), Mar. 7, 2014

国内会議

1. 神田晶申, 「グラフェンナノリボンの電気伝導特性」, 福井大グラフェン研究会「グラフェンナノリボン FET へ向けて」, 福井大学, 2013 年 6 月 13 日
2. 伊藤優, 仁平慎太郎, 片倉健太, 友利ひかり, 田中宏和, 平出璃音可, 大塚洋一, 神田晶申, 「グラフェン電界効果トランジスタにおける電界効果移動度のチャンネル長依存性」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学 (京都), 2013 年 9 月 18 日
3. 片倉健太, 友利ひかり, 伊藤優, 仁平慎太郎, 平出璃音可, 田中宏和, 大塚洋一, 神田晶申, 「グラフェン/金属電極界面に多層グラフェンを挿入した グラフェン電界効果トランジスタの電気伝導評価」, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学 (京都), 2013 年 9 月 18 日
4. 森下将史, 「グラファイト上ヘリウム4薄膜吸着第1原子層の状態」, 日本物理学会 2013 年秋季大会 (徳島大学, 2013 年 9 月 28 日).
5. 森下将史, 「グラファイト上ヘリウム4薄膜 domain wall の流動性」, 日本物理学会第 69 回年次大会 (東海大学, 2014 年 3 月 30 日).
6. 大賀和人, 廣瀬桃子, 大塚洋一, 「トンネル接合型マイクロ SQUID を用いた高磁場動作可能な走査型 SQUID 顕微鏡の開発」, 日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 25
7. 廣瀬桃子, 大賀和人, 大塚洋一, 「Nb を用いたトンネル接合型マイクロ SQUID の開発」, 日本物理学

- 会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 25
8. 松下慎平, 斎藤政通, 大塚洋一、「白金細線におけるスピンホールエッジ磁化の計測」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 26
 9. 稲垣匠哉, 小野田雅重, 大塚洋一、「鉄系超伝導体 FeSe_{0.5}Te_{0.5} の超伝導ポイントコンタクトスペクトロスコピー」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 26
 10. 間明田周平, 柴田祐輔, 伊藤由陸, 柏谷聡, 山口真澄, 田村浩之, 赤崎達志, 大塚洋一, 野村晋太郎、「近接場光学顕微鏡を用いたスピン分裂量子ホール端状態の観測」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 26
 11. 岸澤眞一, 浅井吉蔵, 右近修治, 江尻有郷, 大嶋孝吉, 大塚洋一, 毛塚博史, 小牧研一郎, 近藤泰洋, 下田正, 真梶克彦, 鈴木功, 瀬川勇三郎, 武士敬一, 遠山潤志, 長谷川修司, 深津晋, 味野道信、「第 9 回全国物理コンテスト・物理チャレンジ 2013 実験問題」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013. 9. 26
 12. 近藤泰洋, 北原和夫, 原田勲, 増子寛, 荒船次郎, 岸沢眞一, 大塚洋一, 東山和幸、「物理チャレンジ 2013 報告 : V. 物理チャレンジ全体報告」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学 2013. 9. 26
 13. 友利ひかり, 平出璃音可, 田中宏和, 大塚洋一, 神田晶申, 「グラフェンのラマンスペクトルと電気伝導特性の関係」, 第 61 回春季応用物理学会学術講演会, 青山学院大学 (神奈川), 2014 年 3 月 19 日
 14. 林正彦, 吉岡英生, 友利ひかり, 神田晶申, 「グラフェンの電気伝導における形状効果について」, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学 (神奈川), 2014 年 3 月 27 日
 15. 友利ひかり, 平出璃音可, 田中宏和, 大塚洋一, 神田晶申, 「グラフェンの電気伝導特性とラマンスペクトルの関係」, 日本物理学会第 69 回年次大会, 東海大学 (神奈川), 2014 年 3 月 27 日